



⑮ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 197 11 405 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**B 22 F 9/12**

⑲ Aktenzeichen: 197 11 405.9  
⑳ Anmeldetag: 19. 3. 97  
㉑ Offenlegungstag: 24. 9. 98

DE 197 11 405 A 1

⑦① Anmelder:  
Stiftung Institut für Werkstofftechnik, 28359  
Bremen, DE

⑦② Erfinder:  
Bauckhage, Klaus, Prof. Dr.-Ing., 28355 Bremen, DE;  
Fritsching, Udo, Dr.-Ing., 28205 Bremen, DE; Heck,  
Ulrich, Dipl.-Ing., 28357 Bremen, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

DE	23 36 339 B2
DE	19 58 610 B2
DE	15 33 275 B1
DE	26 48 688 A1
DE	23 40 401 A1
DE	21 09 000 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Vorrichtung zur Feinstzerstäubung von Metallschmelzen der Pulverproduktion und Sprühkompaktierung

DE 197 11 405 A 1

## Beschreibung

Eine Vorrichtung zur Gasverdüsung von Metallschmelzen ist prinzipiell dadurch gekennzeichnet, daß die zentrische Zuführung des zylindrischen Metallschmelzenstrahles aus einem Schmelztiegel oder Gießtrichter in Richtung der Erdbeschleunigung in den Zerstäubungsbereich geschieht. Die Disintegration der Schmelze in ein feindisperses Partikelgrößenpektrum geschieht durch von oben her konzentrisch und unter einem Anstellwinkel auftreffende Inertgasstrahlen nach Abb. 1.

Dabei wird das Gas entweder über Ringschlitze oder entsprechend angeordnete Bohrungen (s. Abb. 2) zugeführt.

Bei konventionellen Düsensystemen wird das Zerstäubergas durch zylindrische oder konvergent zulaufende Bohrungen oder ebene Ringschlitze (s. Abb. 3) zugeführt. Hierdurch entsteht beim Ausströmen des Gases aus dem Druckbehälter eine unterexpandierte Gasströmung, deren Strömungsverlauf vor dem Auftreffen auf die Schmelze mit hohen Exergieverlusten einhergeht. Die einzige Möglichkeit bei konvergent zulaufenden Düsenbohrungen die entstehenden Strömungsverluste zu vermeiden ist der Einsatz von Überschalldüsen, d. h. Düsen, die sich nach dem engsten Querschnitt wieder erweitern.

Für eine ideale Expansion schreibt die Theorie der Gasdynamik einen genauen Konturverlauf der Austrittsbohrung im Erweiterungsteil vor, der Öffnungswinkel wird vom engsten Querschnitt zunehmend kleiner bis er im Düsenaustritt gegen Null strebt um tangentiales Ausströmen zu gewährleisten. Eine jeweils individuelle Kontur ergibt sich dann für genau ein Ruhedruckverhältnis und somit eine Austrittsmachzahl (s. Abb. nach [4]).

In Abb. 5 nach [5] ist der Strömungszustand durch eine erweiterte Düse dargestellt, der sich einstellt, wenn die Düse nicht ideal durchströmt wird. Die Kurve 5 entspricht der idealen Expansion, im Bereich 4-5 ist das treibende Druckgefälle zu niedrig. Wird eine solche Düse nicht im idealen Zustand betrieben, d. h. das treibende Druckverhältnis ist niedriger als das Auslegungsdruckverhältnis, kann sich eine Information (Störung) aufgrund der Überschallströmung und der kaum noch stattfindenden Erweiterung im hinteren, divergenten Teil der Düse nicht stromauf bewegen. Die Folge ist, daß der Strahl weiter expandiert und erst im Austritt eine umso größere Nachverdichtung durch einen Stoß erfährt, die mit hohen Verlusten verbunden ist (Bereich 4c, 4d bis 5). Ist das treibende Druckgefälle hingegen zu groß, liegt wieder ein ähnlicher Fall wie der der unterexpandierten Strömung bei konvergent zulaufenden Düsen vor (5e), der Strahl baut seine überschüssige Druckenergie erst außerhalb der Düse durch die Nachexpansion ab.

Für den Bereich der Schmelzenzerstäubung, bei der der Gas-Vordruck und somit das Druckverhältnis häufig die einzige Regelgröße ist, ist bei idealen Düsenkonturen nur ein sehr begrenztes Abweichen vom Auslegungspunkt möglich.

Die Grundidee der hier vorgestellten Entwicklung ist es eine Austrittskontur vorzugeben, die

1. den Betrieb der Düsen in einem großen Druckbereich um den Auslegungszustand zuläßt und
2. eine einfache Fertigung der Austrittskontur gewährleistet.

Das Prinzip der hier vorgestellten Austrittskontur beruht darauf, keinen im divergenten Teil der Düse sich verkleinernden Öffnungswinkel zu realisieren, sondern einen konstanten Austrittswinkel  $\gamma$ . Der Vorteil dieses konstanten Winkels ist, daß starke Stöße verhindert werden, wenn die Düse nicht beim Auslegungsdruck betrieben wird. Insbesondere wenn der Vordruck niedriger ist als der Auslegungsdruck kann die Information des Umgebungsdruckes durch den größeren Winkel (im Vergleich zu idealen Düsenkonturen) besser entlang der Grenzschicht an der Düsenwand stromauf transportiert werden und der Strahl löst von der Düsenwand ab. Der Vorteil ist dann, daß der Strahl nicht bis zum Düsenaustritt weiter expandiert und erst dort die Verdichtung erfährt, wie bei einer idealen Düsenkontur.

Wesentlicher Bestandteil der Entwicklung ist also der konstante Öffnungswinkel  $\gamma$  im divergenten Teil der Düse.

Zur Auslegung der Düse wird zunächst der Betriebsdruck  $p_{\text{Auslegung}}$  (absoluter Ruhedruck), bei dem die Düse idealerweise betrieben werden soll, festgelegt. Der Winkel  $\gamma$  hängt dann von dem strömenden Medium und dem so festgelegten Auslegungspunkt ab und soll maximal

$$\gamma_{\max} = \left( -2,95 + 4,55 \cdot \ln \frac{p_{\text{Auslegung}}}{p_{\text{Umgebung}}} \right) \quad [^\circ]$$

bei den Medien Luft und Stickstoff (Druckbereich  $p_{\text{Auslegung}}$ : von 2 bis 20 bar) betragen. Um die Düse jedoch in einem weiten Bereich um den so definierten Auslegungspunkt zu betreiben, sollte der tatsächliche ideale Austrittswinkel  $\gamma = 0,9 \cdot \gamma_{\max}$  betragen. Der minimale Austrittswinkel beträgt  $\gamma = 0,5 \cdot \gamma_{\max}$ .

Die übrige Geometrie des zu patentierenden Erweiterungsteils wird durch den Austrittsdurchmesser festgelegt:

$$d_{\text{Austritt}} = d \cdot \left( 0,159 \cdot \left( \frac{p_{\text{Auslegung}}}{p_{\text{Umgebung}}} \right)^{0,597} + 0,752 \right)$$

Dieser Durchmesser ist der ideale Austrittsdurchmesser und kann  $\pm 20\%$  von diesem abweichen.

Die Anzahl der Düsenbohrungen auf dem Teilkreis beträgt hierbei 8 bis 24.

Durch die nur näherungsweise und nahezu vollständige Expansion des Gases im Düsenaustritt ist der Exergieverlust auf dem Weg des Gases zwischen Düsenaustritt und Zerstäubungsbereich minimal. Hierdurch steigen die Gasgeschwindigkeiten im Zerstäubungsbereich gegenüber herkömmlichen, konvergent zulaufenden Düsensystemen um bis zu 20%. Dies führt zur deutlich effizienteren Zerstäubung.

- [4] Zucrow, M.J.; Hoffman, J.D.: Gas Dynamics, Volume 11, John Wiley and Sons, New York, 1977  
 [5] John, J.E.A: Gas Dynamics, Allyn and Bacon INC, Boston, 1993.

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Feinstzerstäubung von Metallschmelzen mittels Gasstrahlen, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Gas aus konzentrisch angeordneten Bohrungen oder einem Ringschlitz ausströmt.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bohrungen auf einem gemeinsamen Teilkreis angeordnet sind.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Erweiterung der Bohrungen nicht dem idealen expandierten Zustand des Gases entspricht, sondern ein kegelförmiger Erweiterungsteil, mit dem Öffnungswinkel  $\gamma$  vorgesehen ist mit:

$$\gamma = K_1 \left( -2,95 + 4,55 * \ln \frac{p_{\text{Auslegung}}}{p_{\text{Umgebung}}} \right) \quad [^\circ]$$

für Luft oder Stickstoff als Zerstäubergas, mit  $K_1 = 0.5$  bis 1 und dem Austrittsdurchmesser  $d_{\text{Austritt}}$  nach Abb. 6.:

$$d_{\text{Austritt}} = K_2 * d * \left( 0.159 * \left( \frac{p_{\text{Auslegung}}}{p_{\text{Umgebung}}} \right)^{0,597} + 0,752 \right)$$

mit  $K_2 = 0.8$  bis 1.2.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl der Gasbohrungen zwischen 8 und 24 beträgt.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

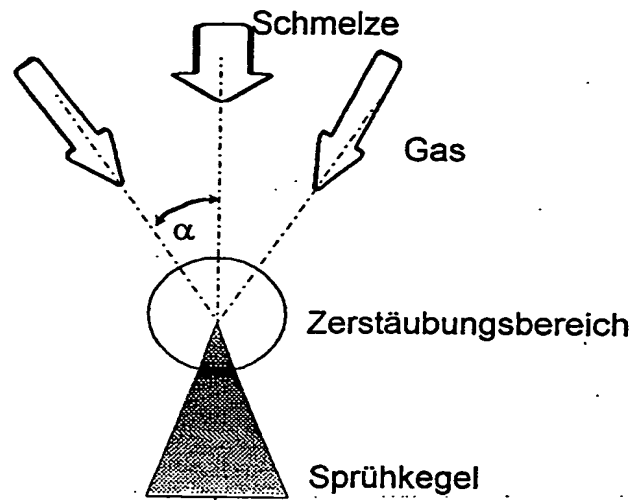


Abb. 1: Prinzip der Massenstromführung bei einem Gaszerstäuber für Metallschmelzen

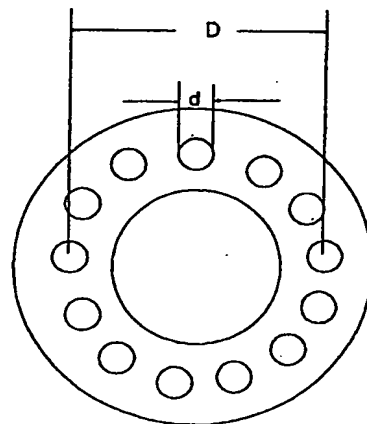
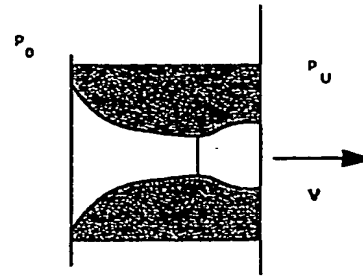
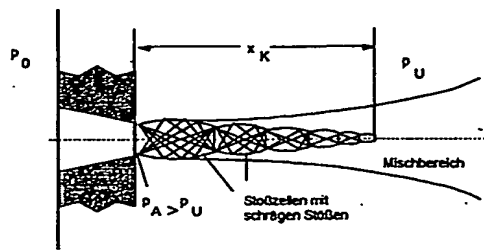


Abb. 2: Ansicht des Zerstäubergasaustrittes bei einzelnen Bohrungen des Durchmessers  $d$ , angeordnet auf dem Teilkreisdurchmesser  $D$

## unterexpandierte Freistrahlen



## konvergente Düse

- Austrittsmachzahl  $Ma=1$
- Strömungsverluste durch Verdichtungsstöße

## erweiterte Düse

- Austrittsmachzahl  $Ma > 1$
- "ideal" expandiert

Abb. 3: Düsenkonturen

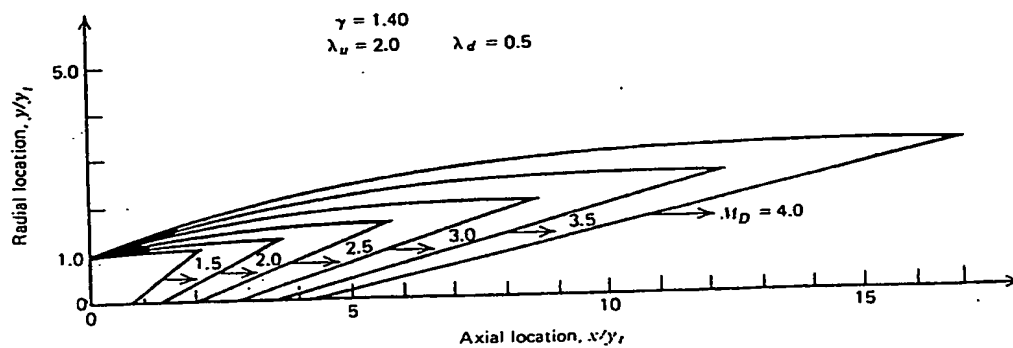


Abb. 4: Austrittskonturen für ideal erweiterte Düsen verschiedener Austrittsmachzahlen nach [4]

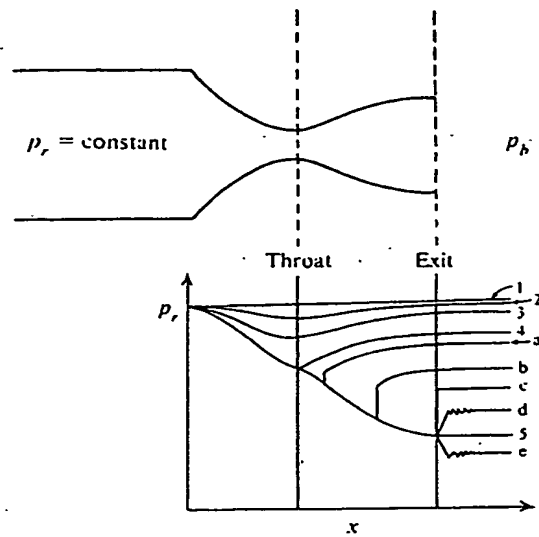


Abb. 5: Druckverlauf in einer erweiterten Düse bei nicht idealem Betrieb nach [5]

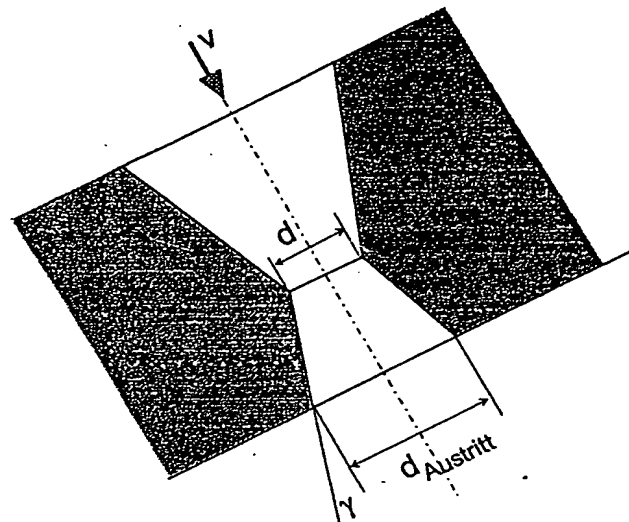


Abb. 6: Prinzip des linear erweiterten Düsenquerschnitts